

Beschreibung

Optisches Übertragungssystem

- 5 Die Erfindung betrifft ein optisches Übertragungssystem bestehend aus mehreren optischen Faserstreckenabschnitten mit jeweils einer optischen Faser und einer Dispersionskompensationseinheit.
- 10 Bei allen optischen Übertragungssystemen mit hohen Datendurchsatzraten, so auch bei nach dem WDM-Prinzip (Wavelength Division Multiplexing) arbeitenden Übertragungssystemen, werden durch die bei der Übertragung von optischen Signalen über optische Fasern auftretende chromatische Dispersion und die
- 15 Selbstphasenmodulation (SPM) Verzerrungen in dem zu übertragenden, optischen Datensignal hervorgerufen - siehe hierzu Grau und Freude: "Optische Nachrichtentechnik - Eine Einführung", Springer-Verlag, 3. Auflage, 1991, S.120-126.
- 20 Derartige Verzerrungen des zu übertragenden, optischen Datensignals sind unter anderem abhängig von der Eingangsleistung des optischen Datensignals. Desweiteren wird durch derartige Verzerrungen die regenerationsfreie Übertragungsreichweite eines optischen Übertragungssystems bestimmt, d.h. die optische Übertragungsstrecke über die ein optisches Datensignal
- 25 übertragen werden kann, ohne daß eine Regeneration bzw. "3R-Regeneration" (elektronische Datenregeneration hinsichtlich der Amplitude, Flanke und des Taktes eines optisch übermittelten, digitalen Datensignals bzw. Datenstromes) durchgeführt werden muß.
- 30

Um derartige Verzerrungen des optischen Datensignals zu kompensieren, werden bei der Übertragung von optischen Signalen über optische Standard-Monomodenfasern geeignete Dispersions-

35 kompensationsseinheiten vorgesehen bzw. ein an die optische Übertragungsstrecke angepaßtes Dispersionsmanagement eingesetzt. Hierzu sind derartige optische Übertragungssysteme

überwiegend in mehrere optische Faserstreckenabschnitte unterteilt, in denen die jeweils in dem betrachteten optischen Faserstreckenabschnitt hervorgerufene Faserdispersion mit Hilfe einer Dispersionskompensationseinheit komplett oder
5 teilweise kompensiert wird.

Derartige Dispersionskompensationseinheiten sind beispielsweise als optische Spezialfasern ausgestaltet, bei denen durch eine spezielle Wahl des Brechzahlindexprofils im Faserkern und den umliegenden Mantelschichten der optischen Faser die Dispersion bzw. Faserdispersion, insbesondere im 1550 nm Fenster sehr hohe negative Werte annimmt. Mit Hilfe der durch die dispersionskompensierende Faser hervorgerufenen, hohen negativen Dispersionswerte können die durch die optischen Übertragungsfasern erzeugten Dispersionsbeiträge effektiv kompensiert werden. Zusätzlich ist die maximale Anzahl von optischen Faserstreckenabschnitten bzw. die regenerationsfreie Reichweite des optischen Übertragungssystems durch das Augendiagramm ("eye-opening") des am Ausgang des jeweiligen optischen Faserstreckenabschnitts anliegenden optischen Datensignals bestimmt. Hierdurch ergibt sich eine maximale Reichweite für eine regenerationsfreie Übertragung eines optischen Datensignals, die zusätzlich durch das optische Signal-Rausch-Verhältnisses des Übertragungsmediums bestimmt
25 ist.

In bislang realisierten optischen Übertragungssystemen werden hierzu unterschiedliche Dispersionsmanagementkonzepte verfolgt, wobei die optimale Dispersionskompensation einer optischen Übertragungsstrecke durch Verwendung von vor- und/oder nachkompensierten bzw. unterschiedlich über- oder unterkompensierten optischen Faserstreckenabschnitten durchgeführt wird. Abhängig von der Faserdispersion kann damit eine bestimmte Entfernung regenerationsfrei übertragen werden.

35 Hierzu ist aus DER FERMELDE-INGENIEUR:

"Wellenlängenmultiplextechnik in zukünftigen photonischen

Netzen", A. Ehrhardt et. al., 53. Jahrgang, Heft 5 und 6, Mai/Juni 1999, S. 18-24 bekannt, daß das Systemoptimum zur Dispersionskompensation eines optischen Übertragungssystems bei einer Dispersionskompensation von unter 100 % erreicht

5 werden kann. Desweiteren geht aus der obengenannten Druckschrift hervor, daß die chromatische Faserdispersion zu einem bestimmten Teil durch Fasernichtlinearitäten selbst kompensiert werden kann.

10 Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht also darin, ein optisches Übertragungssystem der eingangs erwähnten Art derart auszugestalten, daß die Dispersionskompensation verbessert wird und/oder die durch die Signalverzerrungen reduzierte, regenerationsfrei überbrückbare Übertragungsreichweite
15 te erhöht wird. Die Aufgabe wird ausgehend von den im Oberbegriff von Patentanspruch 1 angegebenen Merkmalen durch dessen kennzeichnende Merkmale gelöst.

Erfindungsgemäß wird die Aufgabe durch ein optisches Übertragungssystem gelöst, bei dem Dispersionskompensationseinheiten vorgesehen sind, die die Faserdispersion von mehreren Faserstreckenabschnitten derart kompensieren, daß die verbleibende Rest-Dispersion pro kompensierten Faserstreckenabschnitt zumindest nahezu gleichmäßig um jeweils denselben Dispersionsbetrag ansteigt. Vorteilhaft wird durch das erfindungsgemäße nahezu gleichmäßig verteilte Unterkompensieren über die einzelnen optischen Faserstreckenabschnitte im Vergleich zu bisherigen Systemen mit Vollkompensation eine nahezu Verdopplung der regenerationsfrei überbrückbaren Übertragungsreichweite
25 ermöglicht, d.h. in den jeweiligen Faserstreckenabschnitten wird soweit unterkompensiert bis die verbleibende Rest-Dispersion einem Vielfachen des erfindungsgemäßen Dispersionsbetrags entspricht, wobei die Rest-Dispersion entlang der optischen Übertragungsstrecke pro Faserstreckenabschnitt
30 jeweils um den Dispersionsbetrag zunimmt.

Nach einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung weist das optische Übertragungssystem eine durch Fasernichtlinearitäten und die Faserdispersion hervorgerufene, akkumulierte Rest-Dispersion auf, die mit zunehmender Datenrate nahezu linear abnimmt - Anspruch 2. Der nichtlineare Effekt Selbstphasenmodulation und die Group Velocity Dispersion (GVD) sind die Ursache für die akkumulierte Rest-Dispersion am Ende des letzten Faserstreckenabschnitts der optischen Übertragungstrecke. Sie sind bei vollkompensierten Faserstreckenabschnitten nahezu unabhängig von der Eingangsleistung des optischen Datensignals und beeinflussen sich gegenseitig, d.h. die Selbstphasenmodulation kann eine dispersionskompensierende Wirkung aufweisen. Desweiteren nimmt mit zunehmender Datenrate die Group Velocity Dispersion in den optischen Fasern zu, während die Selbstphasenmodulation nahezu unverändert bleibt. Somit trägt die Selbstphasenmodulation (SPM) im optischen Übertragungssystem zur Dispersionskompensation bei, wobei die dispersionskompensierende Wirkung der Selbstphasenmodulation (SPM) mit zunehmender Datenrate hinsichtlich der Group Velocity Dispersion geringer wird, d.h. die akkumulierte Rest-Dispersion nimmt ab mit zunehmender Datenrate.

Gemäß einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung sind die Dispersionskompensationseinheiten zur Kompensation der Faserdispersion von allen optischen Faserstreckenabschnitten vorgesehen - Anspruch 3. Nimmt auf vorteilhafte Weise in allen Faserstreckenabschnitten des optischen Übertragungssystems die Rest-Dispersion jeweils zumindest nahezu gleichmäßig um denselben Dispersionsbeitrag zu, so kann die maximale regenerationsfrei überbrückbare Übertragungreichweite realisiert werden.

Vorteilhaft weisen alle optischen Faserstreckenabschnitte des optischen Übertragungssystems nahezu dieselbe Länge auf - Anspruch 4, wobei zusätzlich die optischen Fasern der Faserstreckenabschnitte eine Mindestlänge von 20 Kilometern aufweisen - Anspruch 6. Bei einer Mindestlänge von ca. 20 Kilo-

metern besitzen die durch die Faserdispersion und die Faser-nichtlinearitäten hervorgerufenen Signalverzerrungen nahezu den Maximalwert. Durch die Aufteilung des optischen Übertragungssystems in nahezu gleich lange optische Faserstreckenabschnitte, deren Anzahl durch die regenerationsfrei zu überbrückende optische Übertragungsstrecke und der akkumulierten Rest-Dispersion bestimmt wird, kann durch eine einfache modulare Bauweise ein hinsichtlich der Dispersionkompensation und der regenerationsfrei überbrückbaren Übertragungsreichweite optimiertes optisches Übertragungssystem realisiert werden. Insbesondere kann durch den dadurch bedingten symmetrischen Aufbau das optische Übertragungssystem besonders vorteilhaft in einem bidirektionalen Betriebsmodus betrieben werden - Anspruch 7.

Vorteilhafte Weiterbildungen und Ausbildungen des erfindungsgemäßen optischen Übertragungssystems sind in den weiteren Patentansprüchen beschrieben.

Die Erfindung soll im folgenden anhand eines Prinzipschaltbildes und zweier Diagramme näher erläutert werden.

Figur 1 zeigt den prinzipiellen Aufbau eines optischen Übertragungssystems,

Figur 2 zeigt in einem Diagramm das erfindungsgemäße Dispersionmanagementschema und

Figur 3 zeigt in einem weiteren Diagramm die regenerationsfrei überbrückbare Anzahl der kompensierten Faserstreckenabschnitte in Abhängigkeit von der verteilten Unter- bzw. Überkompensation.

In Figur 1 ist ein optisches Übertragungssystem OTS schematisch dargestellt, das eine optische Sendeeinrichtung TU und eine optische Empfangseinrichtung RU aufweist. Die optische Sendeeinrichtung TU ist über N optische, jeweils einen Eingang I und einen Ausgang E aufweisende Faserstreckenabschnitte FDS_1 bis FDS_N mit der optischen Empfangseinrichtung RU

verbunden, die jeweils einen optischen Verstärker EDFA, eine optische Faser SSMF und eine optische Dispersionskompensationseinheit DCU aufweisen.

- 5 In Figur 1 sind beispielhaft ein erster und N-ter optischer Faserstreckenabschnitt FDS_1, FDS_N dargestellt, wobei ein zweiter bis N-1-ter Faserstreckenabschnitt FDS_2 bis FDS_{N-1} anhand einer punktierten Linie angedeutet sind. Desweiteren besteht der erste optische Faserstreckenabschnitt FDS_1 aus einem ersten optischen Verstärker $EDFA_1$, einer ersten optischen Faser SSMF₁, beispielsweise einer optischen Standard-Single-Mode-Faser, sowie aus einer ersten optischen Dispersionskompensationseinheit DCU₁, wobei zwischen der ersten optischen Faser SSMF₁ und der ersten optischen Dispersionskompensationseinheit DCU₁ noch ein optischer Vorverstärker – in Figur 1 nicht dargestellt – vorgesehen werden kann. Analog dazu weist der N-te optische Faserstreckenabschnitt FDS_N einen N-ten optischen Verstärker $EDFA_N$, eine N-te optische Faser SSMF_N und eine N-te optische Dispersionskompensationseinheit DCU_N auf.
- 10 Analog kann auch hier zwischen N-ter optische Faser SSMF_N und N-ter optischer Dispersionskompensationseinheit DCU_N ein weiterer optischer Vorverstärker – in Figur 1 nicht dargestellt – vorgesehen sein.
- 25 Das optische Datensignal bzw. der optische Datenstrom OS wird von der optischen Sendeeinrichtung TU zum Eingang I des ersten optischen Faserstreckenabschnitt FDS_1 übermittelt. Innerhalb des ersten optischen Faserstreckenabschnitts FDS_1 wird das optische Datensignal OS mit Hilfe des ersten optischen Verstärker $EDFA_1$ verstärkt und über die erste optische Faser SSMF₁ zur ersten Dispersionskompensationseinheit DCU₁ übertragen. In der ersten Dispersionskompensationseinheit DCU₁ werden die durch die optische Übertragung über die erste optische Faser SSMF₁ hervorgerufenen Signalverzerrungen des optischen Datensignals OS bis auf eine erste Rest-Dispersion D_{rest1} , die im Falle der ersten Dispersionskompensationseinheit DCU₁ dem erfindungsgemäßen Dispersionsbetrag ΔD ent-
- 30
- 35

spricht, kompensiert. Die festgelegte Rest-Dispersion D_{rest} ist ein durch die Anzahl N der optischen Faserstreckenabschnitte FDS festgelegter Bruchteil der akkumulierten Rest-Dispersion D_{akk} , der nahezu gleichmäßig mit jedem kompensierten Faserstreckenabschnitt FDS um nahezu denselben Dispersionsbetrag ΔD ansteigt.

Die akkumulierte Rest-Dispersion D_{akk} wird durch die Faser-nichtlinearitäten und die Faserdispersion hervorgerufen und liegt am Ende des N -ten Faserstreckenabschnitts FDS_N vor. Außerdem wird die akkumulierte Rest-Dispersion D_{akk} aufgrund der für die Rückgewinnung der Daten aus dem optischen Datensignal OS geforderten Parametern für das Augendiagramm "eye-opening" am Ende des N -ten Faserstreckenabschnitts FDS_N nicht kompensiert. Somit ist das am Ausgang E des ersten optischen Faserstreckenabschnitts FDS_1 anliegende optische Datensignal OS nicht vollständig dispersionskompensiert, sondern unterkompensiert.

Analog dazu wird das optische Datensignal OS über die weiteren optischen Faserstreckenabschnitte FDS zum Eingang I des N -ten optischen Faserstreckenabschnittes FDS_N übertragen. Das am Eingang I des N -ten optischen Faserstreckenabschnittes FDS_N anliegende optische Datensignal OS wird mit Hilfe des N -ten optischen Verstärker EDFA_N verstärkt und über die N -te optische Faser SSMF_N zu der N -ten Dispersionskompensationseinheit DCU_N übermittelt. In der N -ten Dispersionskompensationseinheit DCU_N wird die von der N -ten optischen Faser SSMF_N hervorgerufene Faserdispersion des optischen Datensignals OS teilweise kompensiert, woraus erkennbar ist, daß die Rest-Dispersion D_{rest} des optischen Datensignals OS nahezu gleichmäßig um den vorgegebenen Dispersionsbetrag ΔD ansteigt und nach der N -ten Dispersionskompensation der akkumulierten Rest-Dispersion D_{akk} entspricht. Das am Ausgang E des N -ten optischen Faserstreckenabschnitts FDS_N anliegende optische Datensignal OS wird zur optischen Empfangseinrichtung RU übertragen und gegebenenfalls vor der Weiterverarbeitung ei-

ner 3R - Regeneration unterzogen - nicht in Figur 1 dargestellt.

In Figur 2 ist beispielhaft ein erfindungsgemäßes Dispersion-
5 managementschema DCS anhand eines Diagramms schematisch dargestellt. Daraus wird deutlich, daß sich das optische Übertragungssystem OTS erfindungsgemäß aus mehreren optischen Faserstreckenabschnitten FDS zusammensetzt, die jeweils eine optische Faser SSMF und eine Dispersionskompensationseinheit
10 DCF, beispielsweise eine dispersionskompensierende Faser, aufweisen. Zur Erläuterung des erfindungsgemäßen Dispersionsmanagementschemas DCS ist die Anzahl der optischen Faserstreckenabschnitte auf vier ($N=4$) beschränkt, so daß in Figur 2 sind ein erster, zweiter, dritter und vierter optischer Faserstreckenabschnitt $FDS_1, FDS_2, FDS_3, FDS_4$ dargestellt sind, wobei
15 bei der erste optische Faserstreckenabschnitt FDS_1 eine erste optische Faser $SSMF_1$ und eine erste optische Dispersionskompensationseinheit DCF_1 , der zweite optische Faserstreckenabschnitt FDS_2 eine zweite optische Faser $SSMF_2$ und eine zweite optische Dispersionskompensationseinheit DCF_2 , der dritte optische Faserstreckenabschnitt FDS_3 eine dritte optische Faser $SSMF_3$ und eine dritte optische Dispersionskompensationseinheit DCF_3 und der vierte optische Faserstreckenabschnitt FDS_4 eine vierte optische Faser $SSMF_4$ und eine vierte optische
20 Dispersionskompensationseinheit DCF_4 aufweist. Hierbei ist für das Dispersionsmanagementschema DCS des Ausführungsbeispiels beispielsweise eine nahezu gleiche Länge für die erste bis vierte optische Faser $SSMF_1$ bis $SSMF_4$ sowie für die erste bis vierte dispersionskompensierende Faser DCF_1 bis DCF_4 gewählt.
30

Das Diagramm weist eine horizontale (Abszisse) und eine vertikale Achse (Ordinate) x, d auf, wobei durch die horizontale Achse die Entfernung x von der optischen Sendeeinrichtung TU
35 bzw. die Reichweite der optischen Datenübertragung und durch die vertikale Achse d die Faserdispersion d in der jeweiligen

optischen Faser SSMF bzw. in der dispersionskompensierenden Faser DCF dargestellt ist.

Anhand Figur 2 wird deutlich, daß die Faserdispersion eines
5 am Eingang I des ersten optischen Faserstreckenabschnitts
FDS₁ anliegenden optischen Datensignals OS von der optischen
Sendeeinrichtung TU ($x=0$) entlang der ersten optischen Faser
SSMF₁ linear ansteigt und am Ende der ersten optischen Faser
x₁ einen ersten maximalen Dispersionsbetrag $D_{\max 1}$ annimmt. Der
10 erste maximale Dispersionsbetrag $D_{\max 1}$ wird mit Hilfe der er-
sten Dispersionskompensationseinheit DCF₁ bzw. der ersten
dispersionskompensierenden Faser teilweise kompensiert, d.h.
am Ende der ersten dispersionskompensierenden Faser x₂ liegt
eine erste Rest-Dispersion $D_{\text{rest}1}$ vor, die am Ausgang E der
15 ersten Dispersionskompensationseinheit DCF₁ dem Dispersions-
betrag ΔD entspricht.

Durch die sich anschließende zweite optische Faser SSMF₂
nimmt die Faserdispersion d von der ersten Rest-Dispersion
20 $D_{\text{rest}1}$ bis zu einem zweiten maximalen Dispersionsbetrag $D_{\max 2}$
zu, welcher am Ende der zweiten dispersionskompensierenden
Faser x₃ vorliegt. Der zweite maximale Dispersionsbetrag $D_{\max 2}$
wird mit Hilfe der zweiten Dispersionskompensationseinheit
DCF₂ bzw. der zweiten dispersionskompensierenden Faser soweit
25 kompensiert bis die zweite Rest-Dispersion $D_{\text{rest}2}$ dem zweifa-
chen des Dispersionsbetrags ΔD entspricht, d.h. die verblei-
bende Rest-Dispersion D_{rest} steigt gleichmäßig pro optischen
Faserstreckenabschnitt FDS jeweils um den Dispersionsbetrag
 ΔD an. Somit liegt am Ende der zweiten dispersionskompensie-
renden Faser x₄ eine zweite Rest-Dispersion $D_{\text{rest}2}$ vor, die am
30 Ausgang E der zweiten Dispersionskompensationseinheit bzw.
der zweiten dispersionskompensierenden Faser DCF₂ dem Zweifa-
chen des Dispersionsbetrags ΔD entspricht.

35 Das von der zweiten dispersionskompensierenden Faser DCF₂ an
die dritte optische Faser SSMF₃ übermittelte optische Daten-
signal OS erfährt in der dritten optischen Faser SSMF₃ wie-

derum durch die Faserdispersion d hervorgerufene Signalverzerrungen, die am Ende der dritten optischen Faser x_5 einen dritten maximalen Dispersionsbetrag $D_{\max 3}$ annehmen. Der dritte Dispersionsbetrag $D_{\max 3}$ wird durch die dritte optische Dispersionskompensationseinheit DCF_3 , derartig unterkompensiert, daß die verbleibende dritte Rest-Dispersion $D_{\text{rest}3}$ dem Dreifachen des erfindungsgemäßen Dispersionsbetrages ΔD entspricht, d.h. die Rest-Dispersion D_{rest} nimmt am Ende der dritten dispersionskompensierenden Faser x_6 eine dritte Rest-Dispersion $D_{\text{rest}3}$, die im Vergleich zur zweiten Rest-Dispersion $D_{\text{rest}2}$ nochmals um den Dispersionsbetrag ΔD zugenommen hat.

Desweiteren wird das am Ausgang E der dritten dispersionskompensierenden Faser DCF_3 anliegende optische Datensignal OS an die vierte und letzte optische Faser $SSMF_4$ des optischen Übertragungssystems OTS übermittelt. Anhand Figur 2 wird deutlich, daß die Faserdispersion d weiterhin zunimmt und am Ende der vierten optischen Faser x_7 einen vierten maximalen Dispersionsbetrag $D_{\max 4}$ aufweist. Mit Hilfe der vierten Dispersionskompensationseinheit DCF_4 wird der vierte maximale Dispersionsbetrag $D_{\max 4}$ auf den Betrag der akkumulierten Rest-Dispersion D_{akk} reduziert, welcher dem Vierfachen des erfindungsgemäßen Dispersionsbetrages ΔD entspricht. Somit weist am Ende der optischen Übertragungsstrecke bzw. am Ende des vierten Faserstreckenabschnitts x_8 die verbleibende Rest-Dispersion D_{rest} des optischen Übertragungssystems OTS den Betrag der akkumulierten Rest-Dispersion D_{akk} auf.

Durch das erfindungsgemäße gleichmäßige "Aufteilen" der für das jeweilige optische Übertragungssystem OTS berechneten bzw. geschätzten akkumulierten Rest-Dispersion D_{akk} auf eine festgelegte Anzahl von Faserstreckenabschnitte FDS wird die regenerationsfrei überbrückbare Übertragungsreichweite x_8 nahezu verdoppelt. Hierbei werden die Faserstreckenabschnitte FDS des optischen Übertragungssystems, unabhängig von der Länge der jeweiligen optischen Faser $SSMF$, jeweils bis auf eine durch die akkumulierte Rest-Dispersion D_{akk} festgelegte

Rest-Dispersion D_{rest} unterkompensiert, wobei die Rest-Dispersion D von Faserstreckenabschnitt FDS_1 zu Faserstreckenabschnitt FDS_2 um jeweils denselben Dispersionsbetrag ansteigt.

5

Im Vergleich zu einem den jeweiligen Faserstreckenabschnitt FDS eines optischen Übertragungssystems OTS vollständig kompensierenden Dispersionsmanagementschema DCS kann durch das erfindungsgemäße Dispersionsmanagementschema DCS der verteil-

10 ten Unterkompensation die regenerationsfrei überbrückbare Reichweite erheblich erhöht werden, welches zu einer Einsparung von kostenintensiven elektrischen $3R$ -Regenerationseinrichtungen führt.

15 Desweiteren ist aufgrund des aus Figur 2 erkennbaren, symmetrischen Aufbaus des optischen Übertragungssystems OTS auf einfache Art und Weise eine bidirektionale Datenübertragung über die betrachteten Faserstreckenabschnitte FDS realisierbar.

20

Zusätzlich kann ein eine optische Faser $SSMF$ und eine Dispersionskompensationseinheit DCF aufweisender Faserstreckenabschnitt FDS als optisches Übertragungsmodul M ausgestaltet sein. Somit kann das optische Übertragungssystem OTS durch

25 eine Serienschaltung derartiger optischer Übertragungsmodule M gebildet werden. Eine derartige modulare Bauweise erleichtert die Realisierung einer optischen Übertragungsstrecke bzw. Erweiterung einer bestehenden optischen Übertragungsstrecke in der Praxis erheblich.

30

Weiterhin ist die Verwendung der erfindungsgemäßen, verteilten Unterkompensation besonders vorteilhaft bei optischen Übertragungssystemen, die aufgrund der Datenübertragung mit Hilfe von mehreren Übertragungskanälen eine starke Kreuz-

35 Phasen-Modulation (XPM) als hinsichtlich der regenerationsfrei überbrückbaren Übertragungsreichweiten limitierenden Effekt aufweisen. Diese starke Kreuz-Phasen-Modulation (XPM)

kann durch das erfindungsgemäße Vorsehen einer geringen, lokalen Rest-Dispersion D_{rest} am Ende eines Faserstreckenabschnitts FDS unterdrückt werden. Somit wird durch die erfindungsgemäße verteilte Unterkompensation nicht nur die Selbstphasenmodulation (SPM) unterdrückt, sondern nahezu gleichzeitig der Einfluß der Kreuz-Phasen-Modulation (XPM) erheblich verringert.

In Figur 3 ist in einem weiteren Diagramm die regenerationsfrei überbrückbare Anzahl der kompensierten Faserstreckenabschnitte n_{fs} in Abhängigkeit von der verteilten Unter- bzw. Überkompensation uoc für unterschiedliche Eingangsleistungen P_{4dBm} , P_{6dBm} , P_{9dBm} , P_{12dBm} , P_{15dBm} des optischen Datensignals OS dargestellt.

Das weitere Diagramm weist eine horizontale (Abszisse) und eine vertikale Achse (Ordinate) uoc, n_{fs} auf, wobei durch die horizontale Achse das zur Dispersionskompensation vorgesehene Schema "Unter- bzw. Überkompensation" des optischen Übertragungssystems OTS und durch die vertikale Achse n_{fs} die Anzahl der kompensierten Faserstreckenabschnitte FDS des optischen Übertragungssystems OTS dargestellt ist. Daraus läßt sich erkennen, daß durch die erfindungsgemäße gleichmäßige Unterkompensation mehrerer Faserstreckenabschnitte FDS eine Erhöhung der regenerationsfrei überbrückbaren Übertragungsbereichs erzielt werden läßt. Die regenerationsfrei überbrückbare Übertragungsbereichs wird im weiteren Diagramm durch die Anzahl der kompensierten Faserstreckenabschnitte FDS des optischen Übertragungssystems OTS verdeutlicht.

Hierzu werden ein erstes bis fünftes optisches Datensignal OS1 bis OS5 einem optischen Test-Übertragungssystem OTS zugeführt, die jeweils eine unterschiedliche Eingangsleistung P aufweisen. Dabei weist das erste optische Datensignal OS1 eine Eingangsleistung von 4dBm, das zweite optische Datensignal OS2 eine Eingangsleistung von 6dBm, das dritte optische Datensignal OS3 eine Eingangsleistung von 9dBm, das vierte op-

tische Datensignal OS4 eine Eingangsleistung von 12dBm sowie das fünfte optische Datensignal OS5 eine Eingangsleistung von 15dBm auf.

- 5 Die Erhöhung der regenerationsfrei überbrückbaren Übertra-
gungsbereichweite wird besonders an dem Kurvenverlauf für das
erste optische Datensignal OS1 deutlich, da das erste opti-
sche Datensignal OS1 bei einer Unterkompensation von ca. 0,5
km einer Standard-Einmodenfaser (SSMF) über nahezu 120 Faser-
10 streckenabschnitte FDS ohne Regeneration übertragen werden
kann. Hierbei wird der jeweilige Faserstreckenabschnitt FDS
jeweils durch die dispersionskompensierende Faser DCF soweit
kompensiert, daß eine Rest-Dispersion D_{rest} vorliegt, die ei-
nem unkompensierten optischen Faserstück der Länge eines hal-
15 ben Kilometers (0,5 km) entspricht.

Patentansprüche

1. Optisches Übertragungssystem (OTS) bestehend aus mehreren optischen Faserstreckenabschnitten (FDS) mit jeweils einer
5 optischen Faser (SSMF) und einer Dispersionskompensationseinheit (DCF),
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
daß Dispersionskompensationseinheiten (DCF₁ bis DCF₄) vorgesehen sind, die die Faserdispersion (d) von mehreren Faser-
10 streckenabschnitten (FDS₁ bis FDS₄) derart kompensieren, daß die verbleibende Rest-Dispersion (D_{rest}) pro kompensierten Faserstreckenabschnitt (FDS₁ bis FDS₄) zumindest nahezu gleichmäßig um jeweils denselben Dispersionsbetrag (ΔD) ansteigt.
- 15 2. Optisches Übertragungssystem nach Anspruch 1,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
daß das optische Übertragungssystem (OTS) eine durch Faser-nichtlinearitäten und die Faserdispersion (d) hervorgerufene, akkumulierte Rest-Dispersion (D_{akk}) aufweist, die mit zunehmender Datenrate nahezu linear abnimmt.
- 20 3. Optisches Übertragungssystem nach einem der Ansprüche 1 oder 2,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
25 daß die Dispersionskompensationseinheiten (DCF₁ bis DCF₄) zur Kompensation der Faserdispersion (d) von allen optischen Faserstreckenabschnitten (FDS₁ bis FDS₄) vorgesehen sind.
- 30 4. Optisches Übertragungssystem nach einem der Ansprüche 1 bis 3,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
daß alle optischen Faserstreckenabschnitte (FDS₁ bis FDS₄) des optischen Übertragungssystems (OTS) nahezu dieselbe Länge aufweisen.
- 35 5. Optisches Übertragungssystem nach einem der Ansprüche 1 bis 4,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
daß ein eine optische Faser (SSMF₁) und eine Dispersionskom-
pensationseinheit (DCF₁) aufweisender Faserstreckenabschnitt
(FDS₁) ein optisches Übertragungsmodul (M) realisiert.

5

5. Optisches Übertragungssystem nach Anspruch 4,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
daß das optische Übertragungssystem (OTS) aus mehreren in Se-
rie angeordneten optischen Übertragungsmodulen (M) gebildet
10 werden kann.

6. Optisches Übertragungssystem nach einem der Ansprüche 1
bis 5,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
15 daß die optischen Fasern (SSMF) der Faserstreckenabschnitte
(FDS) eine Mindestlänge von 20 Kilometern aufweisen.

7. Optisches Übertragungssystem nach einem der Ansprüche 1
oder 6,

20 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
daß das optische Übertragungssystem (OTS) einen bidirektiona-
len Betriebsmodus aufweist.

25

Zusammenfassung

Optisches Übertragungssystem

- 5 Die Erfindung betrifft ein optisches Übertragungssystem (OTS) bestehend aus mehreren optischen Faserstreckenabschnitten (FDS) mit jeweils einer optischen Faser (SSMF) und einer Dispersionskompensationseinheit (DCF), bei dem Dispersionskom-
- 10 pensationseinheiten (DCF) vorgesehen sind, die die Faserdispersion (d) von mehreren Faserstreckenabschnitten (FDS₁ bis FDS₄) derart kompensieren, daß die verbleibende Rest-
- Dispersion (D_{rest}) pro kompensierten Faserstreckenabschnitt (FDS₁ bis FDS₄) zumindest nahezu gleichmäßig um jeweils denselben Dispersionsbetrag (ΔD) ansteigt.

15

Figur 2